

АГРОЕКОЛОГІЧНИЙ РИЗИК ЗАСТОСУВАННЯ ПЕСТИЦИДІВ ДЛЯ ЗАХИСТУ ЯБЛУНЕВИХ НАСАДЖЕНЬ В УМОВАХ ПЕРЕДКАРПАТСЬКОЇ ПРОВІНЦІЇ КАРПАТСЬКОЇ ГІРСЬКОЇ ЗОНИ УКРАЇНИ

М.В. Гунчак

Чернівецька філія ДУ «Держгрунтохорона» (м. Чернівці, Україна)
e-mail: chernivtsy_grunt@ukr.net; ORCID: 0000-0002-3521-8531

Встановлено, що швидкість детоксикації пестицидів залежить від їхніх фізико-хімічних властивостей та корелює з полярністю сполук. За величиною дипольних моментів досліджувані пестициди розділено на три групи: неполярні, малополярні та полярні. Неполярні пестициди практично нерозчинні у воді і період їх розпаду в екосистемі довший, ніж у малополярних та полярних пестицидів. Вивчено особливості, швидкість та динаміку детоксикації пестицидів в екосистемі яблуневого саду. Встановлено, що неполярні пестициди розпадаються зі швидкістю $0,07-0,12 \pm 0,05$ частин за добу, а малополярні пестициди — зі швидкістю $0,15-0,22 \pm 0,05$ частин за добу. На 10-ту добу після обприскування виявлено від 0,05 до 1,24 мг/кг досліджуваних пестицидів у плодах яблуні та від 0,15 до 4,41 мг/кг у листках яблуні. Здійснено класифікаційний пестицидів за ступенем небезпечності та виявлено, що досліджувані препарати мають ступінь небезпечності від 3 до 6. Найбільш небезпечні для людини та біоти — пестициди з III ступенем, що наразі потребують детальнішої регламентації, нормування та контролю. Показник сезонного навантаження пестицидів (Н) для інтенсивної хімічної системи сягав 29,5 кг/га, для удосконаленої системи — 10,5, а для системи біолого-хімічного захисту — 0,45 кг/га. Середньозважений ступінь небезпеки (Q) у системі інтенсивного хімічного захисту становив 5,0, для удосконаленої системи — 4,9, а для системи біолого-хімічного захисту — 6,8. Встановлено, що агроетоксикологічний індекс для всіх систем захисту був меншим 1, тобто всі системи захисту є мало небезпечними та не зумовлюють до забруднення екосистеми. Для інтенсивної системи хімічного захисту цей показник сягав у межах 0,24–0,49, для удосконаленої — від 0,014 до 0,025, а для системи біолого-хімічного захисту — від $6 \cdot 10^{-5}$ до $8 \cdot 10^{-5}$.

Ключові слова: система захисту, яблуня, пестициди, полярність, небезпечність, еко-токсикологічні параметри.

ВСТУП

Наукові основи захисту рослин від шкідливих організмів в агроценозах були розроблені вченими в ХХ ст. і продовжуються їх удосконалення з урахуванням нових знань і збагачення практичного досвіду в ХХІ. Екологічні проблеми захисту яблуневих насаджень зумовлені особливостями агроекосистеми: монокультурний характер вирощування багаторічних насаджень створює постійно високий інфекційний фон. В останні роки на продуктивність садів істотно впливає зміна клімату (зими з різкими перепадами температури (від відлиги до сильних морозів), заморозки під час «цвітіння», ґрунтові й повітряні посу-

хи в період «росту» і «дозрівання» плодів. Прогнозування потенційного забруднення екосистеми яблуневого саду пестицидами та розробка заходів щодо запобігання негативних наслідків (порушення природних біоценозів і зниження саморегуляції, поява нових економічно значущих шкідників, знищення корисної флори й фауни, резистентність у шкідливих організмів, забруднення урожаю та накопичення в ґрунті залишкових кількостей, потенційна загроза здоров'ю людини) можливі лише за глибокого розуміння механізмів токсичної дії на живі організми, взаємодії пестицидів з об'єктами навколишнього природного середовища, встановлення критеріїв оцінки цих процесів для формування екологічно

безпечного асортименту пестицидів, нормування та регламентів їх застосування [1–3].

АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

У працях Л.І. Бублик [4–7] доведено, що властивості пестицидів зумовлені їх полярністю, а величина дипольного моменту сполук (μ) є моделлю не тільки їх фізико-хімічних властивостей (температури плавлення, кипіння, розчинності у воді та інших характеристик), а також токсичності та механізму дії.

Проведений екоотоксикологічний моніторинг пестицидів в агроценозах України: буряків цукрових (Л.Л. Гаврилюк), рису (Н.П. Прокоп'юк), зернових і зернобобових культур (О.В. Шевчук, О.В. Балюх), ріпаку (І.В. Крук), плодівих культур (Т.П. Панченко) [8–13] дав змогу авторам встановити, що процес зменшення початкового токсичного потенціалу пестицидного навантаження в агроценозах найбільш вірогідно описується експоненційною моделлю:

$$C_t = C_0 e^{-kt}, \quad (1)$$

де C_0 — початкова концентрація (мг/кг); C_t — концентрація (мг/кг) у певний момент часу t (дів); k (1/доба) — константа швидкості процесу детоксикації пестицидів, яка залежить від багатьох факторів, основними з яких є фізико-хімічні властивості препаратів, особливості культури та ґрунтово-кліматичні умови.

Л.Л. Гаврилюк [8], О.В. Шевчук [10] вказують, що на сьогодні важливим є оптимізація хімічного методу на основі критеріїв доцільності застосування пестицидів з урахуванням чисельності популяцій шкідників, наявності ентомофагів, ступеня стійкості сортів до фітофагів та збудників хвороб, який повинен базуватись на його удосконаленні і науково обґрунтованому застосуванні. Цей метод має бути не стільки засобом знищення шкідливих організмів, скільки фактором управління їх чисельністю і оптимізації фітосанітарного стану агробіоценозів. Це набуває

особливого значення в умовах зміни клімату, які проявилися через вирівнювання температурного поля по території країни, підвищення середньорічної температури та збільшення суми ефективних температур, що зумовило до зміни тривалості сезонів року, до перебудови домінуючих ентомокомплексів, поширення на північ і збільшення чисельності спеціалізованих видів шкідників, хвороб та бур'янів, втрати врожаю, а також збільшення екологічної небезпечності хімічного захисту.

Толерантність території до пестицидного навантаження оцінюють зональним індексом здатності систем до самоочищення. Індекс самоочищення території характеризує інтенсивність розпаду пестицидів залежно від ґрунтово-кліматичних умов. Він вимірюється за допомогою оціночних балів від 0,1 до 1. Різній здатності до самоочищення відповідають такі індекси:

- дуже інтенсивна — $>0,80$;
- інтенсивна — $0,80-0,61$;
- помірна — $0,60-0,41$;
- слабка — $0,40-0,20$;
- дуже слабка — $<0,20$ [6].

Звичайно використовується скоригований індекс, який є усередненим показником здатності території до самоочищення.

Дослідження І.В. Крука [12] засвідчують, що потепління на початку ХХІ ст. призвело до зміни показників гідро-, теплозабезпеченості (ГТК) та погіршення здатності агроценозів до самоочищення ($I_{зон}$) по всій території країни, тому під час планування хімічних заходів захисту рослин слід підбирати такий асортимент пестицидів та сумарну норму їх витрати на одиницю орної площі в ґрунтово-кліматичній зоні, щоб вони співвимірювались зі здатністю території до самоочищення, а значення АЕТІ не перевищувало малонебезпечну межу.

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Роботу виконували впродовж 2015–2021 рр. в Інституті захисту рослин Національної академії аграрних наук України (ІЗР НААН) у лабораторії аналітичної хімії пестицидів, в Українській науково-

дослідній станції карантину рослин ІЗР НААН (УкрНДСКР ІЗР) у лабораторії органічного землеробства та біоенергетичних культур.

Дослідження проводили в плодовому саду УкрНДСКР ІЗР (Чернівецька обл.) за загальноприйнятими методиками [14–16].

Класифікацію пестицидів за полярністю, за величиною дипольного моменту, визначення залишків, вивчення процесів детоксикації пестицидів в яблуневому агроценозі проводили з використанням фізико-хімічних методів аналізу за методиками, офіційно затвердженими Міністерством захисту довкілля та природних ресурсів України [17].

Найпростішим та високоточним методом для визначення дипольного моменту є тонкошарова хроматографія. В основі хроматографічного процесу лежить обмін речовин між рухомою та нерухомою фазами [3]. Швидкість руху речовин у тонкому шарі адсорбенту характеризується величиною R_f , яка залежить від дипольного моменту сполуки (μ) та діелектричної проникності рухомої фази (ϵ) і описується рівнянням [4]:

$$R_f = V/U = S_1 t / S_2 t = (\epsilon - \mu)^{1/2} / K, \quad (2)$$

де V – швидкість руху речовини; U – швидкість руху елюенту; S_1 – відстань від старту до центру хроматографічної зони; S_2 – відстань від старту до фронту елюенту; t – час хроматографування; μ – дипольний момент сполуки; ϵ – діелектрична проникність рухомої фази, розрахована за правилом адитивності; K – коефіцієнт адсорбції чи розподілу, що залежить від хімічної природи досліджуваної сполуки та умов хроматографування.

Для кожної сполуки встановлюється залежність величини R_f від діелектричної проникності рухомої фази (ϵ). Розрахунок дипольного моменту проводиться за формулою [4]:

$$\mu = \frac{Rf_2^2 \epsilon_1 - Rf_1^2 \epsilon_2}{Rf_2^2 - Rf_1^2}, \quad (3)$$

де Rf_2 – значення в більш полярній фазі з ϵ_2 ; Rf_1 – значення в менш полярній фазі з ϵ_1 .

Ця формула використовується для рухомих фаз із близькими значеннями діелектричної проникності, за яких коефіцієнт K має однакові значення, а залежність величини R_f від ϵ – лінійна.

Показники детоксикації пестицидів розраховували за рівнянням [13]:

$$k = \frac{2,303 \lg C_0 / C_t}{t}, \quad (4)$$

$$T_{50} = 0,693 / k, \quad (5)$$

$$T_{95} = 2,999 / k. \quad (6)$$

Небезпечність застосування пестицидів оцінювали за інтегральною 7-ми ступеневою шкалою, яку визначали рівнянням [6]:

$$C_n = (KA + KB) - 1, \quad (7)$$

де 1 і 2 ступінь – надзвичайно небезпечні, 3 – небезпечні, 4 і 5 – помірно небезпечні, 6 і 7 – малонебезпечні.

Схеми обробок досліджуваними системами захисту яблуні наведені в *табл. 1*.

Ризик застосування пестицидів оцінювали за агроекотоксикологічним індексом (АЕТІ) [3; 6].

Значенню АЕТІ відповідає прогнозоване навантаження в розмірі 4 умовних кг/га, тобто повинно виконуватись обмеження:

$$\frac{\sum H}{Q \cdot 3I_{зон}} \leq 4. \quad (8)$$

У плодовому саду зональний індекс самоочищення, тобто толерантність екосистеми збільшується втричі за рахунок абсорбційної властивості листової поверхні. Відповідно рівняння граничного навантаження пестицидів матиме вигляд:

$$\sum H = 12 \cdot Q \cdot I_{зон}. \quad (9)$$

Статистичну обробку одержаних даних здійснювали з використанням комп'ютерної програми Microsoft Office Excel.

Таблиця 1. Схема обробок (яблуневий сад, УкрНДСР ІЗР НААН, 2015–2021 рр.)

| | | | | | | | | | | | |
|-------------------------------------|--|--|--|---|---|---|--|--|--|---|--------------------------------------|
| Інтегрована хімічна система захисту | Енжіо (0,2 л/га) Делан (0,8кг/га) Кумулос (6,0кг/га) | Каліпсо (0,3 л/га) Хорус (0,2 кг/га) Скала (0,8 л/га) Делан (0,5 кг/га) | Пірінекс Супер (1,5 л/га) Ніссоран (0,5кг/га) | Малвін (2,0 кг/га) Флінг Стар (0,5 л/га) | Актара (0,14 кг/га) Антракол (2,0 кг/га) | Енвідор (0,5 л/га) Кораген (0,2 л/га) Скор (0,2 л/га) | Кораген (0,2 л/га) Канонір Дуо (0,1 л/га) Малвін (2,0кг/га) | Нурел Д Луна Сенсейшн (0,35 л/га) | Кораген (0,2 л/га) Пенкоцеб (2,0кг/га) | Моспілан (0,2 кг/га) Полірам (2,5 кг/га) | Топсін-М (2,0 кг/га) |
| Улосконалена хімічна система | Енжіо (0,15 л/га) Меян Екстра (2,0 л/га) | Каліпсо (0,25 л/га) Скор (0,2 л/га) | Енжіо (0,18 л/га) Ніссоран (0,3 кг/га) Делан (0,5 кг/га) | Моспілан (0,15 кг/га) Скор (0,15 л/га) Блюз (0,35 л/га) | Канонір Дуо (0,1л/га) Луна Сенсейшн (0,35 л/га) Флінг Стар (0,5 л/га) | Кораген (0,2 л/га) Блокбастер (0,5 л/га) Делан (0,5 кг/га) Скор (0,2 л/га) | Кораген (0,2 л/га) Луна Сенсейшн (0,35л/га) Моспілан (0,2 кг/га) | Луна Сенсейшн (0,35л/га) Моспілан (0,2 кг/га) | Кораген (0,2 л/га) Делан (0,5 кг/га) Флінг Стар (0,5 л/га) | Альфатард (0,15 л/га) Топсін-М (2,0 кг/га) | |
| Біолого-хімічна система | Скор (0,15 л/га) Каліпсо (0,3 л/га) | Актофіт (2,0 л/га) Гаупсин (6,0 л/га) Планриз (5,0 л/га) | Актофіт (2,0 л/га) Лепідодид (4,0 л/га) Триходермін (5,0кг/га) | Гаупсин (6,0 л/га) Коло-радоцид (3,0 л/га) Планриз (5,0 л/га) | Актофіт (2,0 л/га) Лепідодид (4,0 л/га) Триходермін (5,0кг/га) | Гаупсин (6,0 л/га) Коло-радоцид (3,0 л/га) Планриз (5,0 л/га) | Лепідодид (4,0 л/га) ФітоДоктор (2,0 кг/га) | Лепідодид (4,0 л/га) | Бітоксацилін (7,0 л/га) Триходермін (0,5кг/га) | Гаупсин (6,0 л/га) Триходермін (5,0 кг/га) | |
| Фаза розвитку | Зелений конус | Рожевий бутон | Кінець цвітіння | Формування плодів | Ріст плодів | Ріст плодів | Ріст плодів | Ріст плодів | Ріст плодів | Ріст плодів | Дозрівання плодів |
| Термін внесення | ІІ декада квітня | ІІ–ІІІ декада квітня | ІІ декада квітня – І декада травня | І–ІІІ декада травня | ІІ–ІІІ декада травня – І декада червня | ІІ–ІІІ декада червня | І–ІІ декада липня | ІІ–ІІІ декада липня | І декада серпня | ІІ декада серпня | ІІІ декада серпня – І декада вересня |

**РЕЗУЛЬТАТИ
ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ**

Дослідження свідчать, що фізико-хімічні властивості органічних сполук є функцією їх молекулярної будови, залежать від їх полярності і можуть характеризуватись за величиною дипольних моментів (μ).

За величиною дипольних моментів досліджувані пестициди розділено на три групи: неполярні з μ від 0 до 2 Дебай (Д), малополярні з μ від 2 до 6 Дебай та полярні з μ більше 6 Дебай (табл. 2).

Результати досліджень доводять, що сполуки різних органічних класів із близькими значеннями дипольних моментів мають однакові властивості. Неполярні (карбоксаміди) практично нерозчинні у воді і мають контактний механізм дії. До неполярних сполук належать інсектициди. Із збільшенням μ сполуки краще розчиняються у воді, що зумовлює механізм їх дії. Сучасний асортимент інсектицидів та

фунгіцидів, що застосовуються для захисту яблуні, становлять малополярні сполуки контактної-системної і системної дії.

Сполуки різних хімічних класів відрізняються специфікою дії на шкідливі організми. Інсектициди з класів піретроїдів, ФОС, неонікотиноїдів чинять нейротоксичну дію, блокують дихальний метаболізм, порушують обмін речовин, викликають розлад функцій різних органів. Карбамати, фенілсечовини порушують процеси росту і розвитку комах, антраніламіді знижують статево активність метеликів, викликають параліч м'язів личинок і зупинку живлення, чинять овіцидну дію.

Таким чином, величина дипольного моменту (μ) сполуки є моделлю її властивостей. Асортимент пестицидних сполук удосконалюється за рахунок включення до переліку більш полярних препаратів (антраніламідів, анілінопіримідинів, дитіокарбаматів, піридилетиламідів, фталімідів

Таблиця 2. Характеристика за полярністю пестицидів, що застосовуються для захисту яблуні

| Пестициди* (клас сполук : призначення) | Емпірична формула | Рухома фаза | | $R_f \pm 0,02$ | | $\mu \pm 0,05$, Д |
|--|----------------------------|--------------|--------------|----------------|--------|-----------------------|
| | | ϵ_1 | ϵ_2 | Rf_1 | Rf_2 | |
| Неполярні (μ від 0 до 2 Д) | | | | | | |
| Гекситіазокс (КМ:Ін.) | $C_{17}H_{21}ClN_2O_2S$ | 1,89 | 2,82 | 0,32 | 0,44 | 0,85 |
| Малополярні (μ від 2 до 6 Д) | | | | | | |
| Метирам (Т:Ф) | $C_{12}H_{12}N_6S_{16}Zn$ | 3,65 | 4,34 | 0,20 | 0,32 | 3,20 |
| Пропінеб (ДД:Ф) | $C_5H_8N_2S_4Zn$ | 3,65 | 4,34 | 0,10 | 0,18 | 3,95 |
| Піриметаніл (АП:Ф) | $C_{12}H_{13}N_3$ | 5,77 | 6,74 | 0,15 | 0,19 | 4,10 |
| Каптан (ФТ:Ф) | $C_9H_8Cl_3NO_2S$ | 5,77 | 6,74 | 0,16 | 0,20 | 4,32 |
| Хлорантраніліпрол (А:Ін.) | $C_{18}H_{14}BrCl_2N_5O_2$ | 5,77 | 6,74 | 0,16 | 0,21 | 4,42 |
| Флуопірам (ПЕ:Ф) | $C_{16}H_{11}ClF_6N_2O$ | 5,77 | 6,74 | 0,15 | 0,20 | 4,50 |
| Манкоцеб (Д:Ф) | $C_8H_{12}MnN_4S_8Zn$ | 5,77 | 6,74 | 0,14 | 0,19 | 4,55 |
| Спіродиклофен (К:Ін.) | $C_{21}H_{24}Cl_2O_4$ | 6,74 | 8,36 | 0,09 | 0,14 | 5,44 |
| НІР ₀₅ | | | | | | 0,8 |

Примітки: * у табл. 2 пестициди розміщені у порядку зростання величини дипольного моменту.

1. А – антраніламіді, АП – анілінопіримідини, Д – дитіокарбамати, ДД – диметилдитіокарбамати, К – кетоеноли, КМ – карбоксаміди, ПЕ – піридилетиламіді, Т – триазолі, ФТ – фталіміді, Ін. – інсектициди, Ф – фунгіциди.
2. $R_f \pm 0,02$ – довірчий інтервал за $P=0,95$; $n=5$, критерій Ст'юдента $t_{\alpha}2,78$.
3. μ – величина дипольного моменту, Дебай.

та ін.), які подібні природним сполукам, що виконують виключну роль у біологічних процесах обміну речовин.

Для упередження розвитку резистентності до хімічних засобів захисту у шкідників та збудників хвороб слід чергувати й комбінувати під час обприскування препаратами контактної та контактної-системної дії.

Для оцінки екотоксикологічної небезпеки застосування пестицидів вивчено особливості, швидкість та динаміку їх детоксикації в екосистемі яблуневого саду впродовж вегетаційного періоду.

Зменшення початкового токсичного потенціалу пестицидів в екосистемах розглядали як багатофакторний процес їх детоксикації, що характеризується константою швидкості (k , частин за добу), періодом напіврозпаду (T_{50}) і розпаду на 95% (T_{95}).

Ці показники дали змогу оцінити інтенсивність процесу детоксикації пестицидів та прогнозувати потенційне забруднення навколишнього природного середовища.

За результатами досліджень, швидкість детоксикації пестицидів у листках та плодах яблуні залежить від їх фізико-хімічних властивостей і корелює з полярністю сполук.

Динаміку детоксикації різнополярних пестицидів у плодах яблуні наведено в *табл. 3*, що характеризує процес швидкості розпаду пестицидів та показує динаміку цього процесу з першої по десяту добу.

Таким чином, неполярні пестициди розпадаються зі швидкістю $0,07-0,12 \pm 0,05$ частин за добу, тобто процес їх детоксикації відбувається повільніше, ніж у малополярних пестицидів, швидкість розпаду

Таблиця 3. Динаміка вмісту різнополярних пестицидів у плодах яблуні (яблуневий сад, УкрНДСКР ІЗР НААН, 2015–2021 рр.)

| Препарат (норма витрати, кг, л/га): діюча речовина (норма витрати, г/га) | $\mu \pm 0,05$, Д | Виявлено (мг/кг) на ... добу після обприскування | | | | | $k \pm 0,05$, діб ⁻¹ |
|---|-----------------------|--|------|------|------|------|-------------------------------------|
| | | 1 | 3 | 5 | 7 | 10 | |
| Фенофаза «ріст плодів» (обробка – I декада червня) | | | | | | | |
| Актара 25 WG, ВГ (0,14): тіаметоксам (35) | 5,55 | 0,46 | 0,30 | 0,19 | 0,12 | 0,06 | 0,22 |
| Канонір Дуо, КС (0,1): лямбда-цигалотрин (10) + імідаклоприд (30) | 1,30 | 0,15 | 0,11 | 0,09 | 0,07 | 0,05 | 0,12 |
| | 5,50 | 0,40 | 0,27 | 0,17 | 0,11 | 0,06 | 0,21 |
| Флінт Стар 520, КС (0,5): трифлостриробін (60) + піриметаніл (200) | 3,53 | 0,86 | 0,63 | 0,47 | 0,34 | 0,22 | 0,15 |
| | 4,10 | 2,75 | 1,92 | 1,34 | 0,93 | 0,55 | 0,18 |
| Фенофаза «ріст плодів» (обробка – III декада червня) | | | | | | | |
| Енвідор 240, КС (0,5): спіродиклофен (120) | 5,44 | 1,04 | 0,69 | 0,47 | 0,31 | 0,17 | 0,20 |
| Кораген 20, КС (0,2): хлорантраніліпрол (40) | 4,32 | 0,57 | 0,38 | 0,26 | 0,17 | 0,09 | 0,20 |
| Скор 250 ЕС, КЕ (0,2): дифеноконазол (50) | 4,70 | 0,68 | 0,46 | 0,31 | 0,21 | 0,11 | 0,20 |
| Делан, ВГ (0,5): дитіанон (350) | 3,90 | 3,79 | 2,70 | 1,92 | 1,37 | 0,82 | 0,17 |
| Блокбастер, КЕ (0,5): Біфентрин (50) | 0,38 | 2,32 | 2,01 | 1,75 | 1,53 | 1,23 | 0,07 |

| Препарат (норма витрати, кг, л/га): діюча речовина (норма витрати, г/га) | $\mu \pm 0,05,$ Д | Виявлено (мг/кг) на ... добу після обприскування | | | | | $k \pm 0,05,$ діб ⁻¹ |
|---|----------------------|--|--------------|--------------|--------------|--------------|------------------------------------|
| | | 1 | 3 | 5 | 7 | 10 | |
| Фенофаза «ріст плодів» (обробка – III декада липня) | | | | | | | |
| Нурел Д, КЕ (1,0): хлорпірифос (500) + циперметрин (50) | 0,32 1,27 | 3,05 0,30 | 2,50 0,24 | 2,04 0,19 | 1,67 0,15 | 1,24 0,10 | 0,10 0,12 |
| Луна Сенсейшн, КС (0,35): трифлуксиробін (175) + флуопірам (175) | 3,53 4,50 | 2,50 2,39 | 1,84 1,60 | 1,36 1,07 | 1,01 0,72 | 0,65 0,40 | 0,15 0,20 |
| Моспілан, ВП (0,2): ацетаміприд (80) | 5,51 | 0,54 | 0,35 | 0,22 | 0,14 | 0,07 | 0,22 |

Примітка: межа визначення 0,01–0,05 мг/кг; похибка $\delta < 20\%$ за умови $P=0,95$ і $n=15$.

яких сягає $0,15-0,22 \pm 0,05$ частин за добу. На десяту добу після обприскування було виявлено від 0,05 до 1,24 мг/кг досліджуваних інсектицидів та від 0,11 до 0,82 мг/кг фунгіцидів.

Однак слід враховувати, що вихідний токсичний потенціал (вміст) пестициду та термін його виявлення в екосистемі саду залежить від норми витрати. Зменшення початкового токсичного потенціалу можливо за застосування неполярних пестицидів із меншими нормами витрат у комбінаціях з більш полярними сполуками.

У листках яблуні швидкість процесу також проходить за експоненційною моделлю (табл. 4), але вміст пестициду (мг/кг) після обробки втричі перевищує вміст у плодах за рахунок адсорбційної властивості листової поверхні. Так, на першу добу після обприскування у листках яблуні містилося від 0,89 до 10,86 мг/кг досліджуваних пестицидів. У процесі їх детоксикації, через 10 днів після обробки їх залишки становили від 0,15 до 4,41 мг/кг, що значно менше МДР.

Таблиця 4. Динаміка вмісту різнополярних пестицидів у листках яблуні (яблуневий сад, УкрНДСКР ІЗР НААН, 2015–2021 рр.)

| Препарат (норма витрати, кг, л/га): діюча речовина (норма витрати, г/га) | $\mu \pm 0,05,$ Д | Виявлено (мг/кг) на ... добу після обприскування | | | | | $k \pm 0,05,$ діб ⁻¹ |
|---|----------------------|--|--------------|--------------|--------------|--------------|------------------------------------|
| | | 1 | 3 | 5 | 7 | 10 | |
| Фенофаза «ріст плодів» (обробка – I декада червня) | | | | | | | |
| Актара 25 WG, ВГ (0,14): тіаметоксам (35) | 5,55 | 2,10 | 1,34 | 0,86 | 0,56 | 0,29 | 0,22 |
| Канонір Дуо, КС (0,1): лямбда-цигалотрин (10) + імідаклоприд (30) | 1,30 5,50 | 0,44 1,25 | 0,34 0,82 | 0,27 0,53 | 0,21 0,35 | 0,15 0,18 | 0,12 0,21 |
| Флінт Стар 520, КС (0,5): трифлуксиробін (60) + піриметаніл (200) | 3,53 4,10 | 2,84 8,35 | 2,10 5,82 | 1,55 4,06 | 1,15 2,83 | 0,74 1,65 | 0,15 0,18 |

| Препарат (норма витрати, кг, л/га): діюча речовина (норма витрати, г/га) | $\mu \pm 0,05$, Д | Виявлено (мг/кг) на ... добу після обприскування | | | | | $k + 0,05$, діб ⁻¹ |
|---|-----------------------|--|--------------|--------------|--------------|--------------|-----------------------------------|
| | | 1 | 3 | 5 | 7 | 10 | |
| Фенофаза «ріст плодів» (обробка – III декада червня) | | | | | | | |
| Енвідор 240, КС (0,5): спіродиклофен (120) | 5,44 | 3,17 | 2,01 | 1,26 | 0,80 | 0,40 | 0,20 |
| Кораген 20, КС (0,2): хлорантраніліпрол (40) | 4,32 | 1,30 | 0,88 | 0,59 | 0,39 | 0,21 | 0,20 |
| Скор 250 ЕС, КЕ (0,2): дифеноконазол (50) | 4,70 | 1,64 | 1,10 | 0,74 | 0,49 | 0,27 | 0,20 |
| Делан, ВГ (0,5): дитіанон (350) | 3,90 | 9,87 | 7,02 | 5,00 | 3,56 | 2,14 | 0,17 |
| Блокбастер, КЕ (0,5): Біфентрин (50) | 0,38 | 1,39 | 1,21 | 1,05 | 0,92 | 0,74 | 0,07 |
| Фенофаза «ріст плодів» (обробка – III декада липня) | | | | | | | |
| Нурел Д, КЕ (1,0): хлорпірифос (500) + циперметрин (50) | 0,32 1,27 | 10,86 0,89 | 8,89 0,70 | 7,28 0,59 | 5,96 0,43 | 4,41 0,30 | 0,10 0,12 |
| Луна Сенсейшн, КС (0,35): трифлуксистробін (175) + флуопірам (175) | 3,53 4,50 | 7,53 7,16 | 5,58 4,80 | 4,13 3,21 | 3,06 2,16 | 1,95 1,18 | 0,15 0,20 |
| Моспілан, ВП (0,2): ацетаміприд (80) | 5,51 | 1,84 | 1,18 | 0,76 | 0,49 | 0,25 | 0,22 |

Примітка: межа визначення 0,01–0,05 мг/кг; похибка $\delta < 20\%$ за умови $P=0,95$ і $n=15$.

Таким чином, визначивши полярність пестицидів можна прогнозувати їх поведінку в екосистемі, а за константою швидкості детоксикації — моделювати динаміку цього процесу, що дає змогу уникнути забруднення урожаю та навколишнього природного середовища.

Потенційна можливість негативних наслідків застосування пестицидів зумовлюється, насамперед, здатністю їх до гострого отруєння та вірогідністю забруднення екосистемами яблуневого саду шкідливими хімічними сполуками. Для оцінки небезпечності застосування пестицидів використовували інтегральний показник — ступінь небезпечності застосування (Сн), який враховує як токсиколого-гігієнічний

(КА), так і екотоксикологічний (КБ) аспекти застосування пестициду.

Ступінь небезпечності, що характеризує екотоксикологічні властивості сполук, може використовуватися для оновлення їх асортименту за рахунок помірно- та мало-небезпечних пестицидів, ефективних із малими нормами витрат. Ступінь небезпечності застосування інсектицидів та акарицидів сучасного асортименту і їх екотоксикологічні параметри наведено в *табл. 5*.

Інсектициди, що застосовувались для захисту яблуні від шкідників, відносяться до небезпечних та помірно небезпечних препаратів. За полярністю їх діючі речовини належать до неполярних і малополярних сполук. Найбільш небезпечними є

Таблиця 5. Ступінь небезпечності та екоотоксикологічні параметри інсектицидів й акарицидів

| № з/п | Препарат (кг, л/га): діюча речовина, г/га | $\mu \pm 0,05$, Д | $k \pm 0,02$, діб | $T_{50} \pm 0,5$, діб | $T_{95} \pm 2,0$, діб | ЛД ₅₀ , мг/кг | КА+КБ | С _н | | МДР, мг/кг | Вміст в урожаї, мг/кг | |
|-------|--|--------------------|--------------------|------------------------|------------------------|--------------------------|-------------------|----------------|-------|--------------|-----------------------|---|
| | | | | | | | | Д.р. | Преп. | | експ.* | розрах.** |
| 1 | Актара 25, ВГ (0,14): тіаметоксам, 35 | 5,55 | 0,22 | 3,2 | 13,6 | 1563 | III+III | 5 | 5,0 | 0,1 | Н | 8,9·10 ⁻¹² |
| 2 | Альфагард 100, КЕ (0,15): альфа-циперметрин, 15 | 1,54 | 0,12 | 6,9 | 30,0 | 400 | III+II | 4 | 4,0 | 0,15 | Н | 0,01 |
| 3 | Блокбастер, КЕ (0,50): біфентрин, 50 | 0,38 | 0,07 | 9,9 | 43,0 | 54,5 | II+II | 3 | 3,0 | 0,2 | Н | 0,001 |
| 4 | Енжіо 247, КС (0,2): лямбда-цигалотрин, 21,2 + тіаметоксам, 28,2 | 1,27 5,55 | 0,12 0,22 | 6,9 3,2 | 30,0 13,6 | 467 1563 | III+II III+III | 4 5 | 4,7 | 0,03 0,1 | Н Н | 5,3·10 ⁻⁹ 2,2·10 ⁻¹⁵ |
| 5 | Енвідор 240, КС (0,5): спіродиклофен, 120 | 5,44 | 0,23 | 3,1 | 13,0 | 2500 | III+IV | 6 | 6,0 | 0,2 | Н | 4,1·10 ⁻¹⁰ |
| 6 | Каліпсо 480, КС (0,3): тіаклоприд, 144 | 5,35 | 0,19 | 3,6 | 15,7 | 300–500 | III+III | 5 | 5,0 | 0,1 | Н | 5,8·10 ⁻¹⁴ |
| 7 | Канонір Дуо, КЕ (0,1): лямбда-цигалотрин, 10 + імідаклоприд, 30 | 1,27 5,50 | 0,12 0,21 | 6,9 3,5 | 30,0 14,3 | 467 450 | III+II III+III | 4 5 | 4,8 | 0,03 0,07 | Н Н | 6,1·10 ⁻⁵ 2,2·10 ⁻⁷ |
| 8 | Кораген20, КС (0,2): хлорантраніліпрол, 40 | 4,42 | 0,20 | 3,0 | 21,4 | 5000 | III+IV | 6 | 6,0 | 0,5 | Н | 4,9·10 ⁻⁷ |
| 9 | Моспілан, ВП (0,2): ацетаміприд, 40 | 5,51 | 0,22 | 3,2 | 13,6 | 690–800 | III+III | 5 | 5,0 | 0,05 | Н | 1,2·10 ⁻⁷ |
| 10 | Ніссоран, ЗП (0,5): гекситіазокс, 50 | 0,85 | 0,08 | 8,7 | 37,5 | 5000 | IV+II | 5 | 5,0 | 0,1 | Н | 6,1·10 ⁻⁶ |
| 11 | Нурел Д, КЕ (1,0): хлорпірифос, 500 + циперметрин, 50 | 0,32 1,27 | 0,10 0,12 | 6,9 4,3 | 30,0 25,0 | 127 400 | II+II III+II | 3 4 | 3,3 | 0,5 0,01 | Н Н | 0,005 0,0001 |
| 12 | Пірінекс Супер 420, КЕ (1,5): хлорпірифос, 600 + біфентрин, 30 | 0,32 0,30 | 0,10 0,07 | 6,9 9,9 | 30,0 43,0 | 127 54,5 | II+II II+II | 3 3 | 3,0 | 0,5 0,2 | Н Н | 1,3·10 ⁻⁶ 0,0006 |

Примітки: * – експериментальний; ** – розрахунковий.

неполярні інсектициди з класу піретроїдів та фосфорорганічних сполук, які за токсичністю або стійкістю в екосистемі належать до II класу небезпечності, за інтегральною класифікацією мають III ступінь небезпечності (Пірінекс Супер 420, КЕ; Нурел Д, КЕ; Блокбастер, КЕ) або IV (Енжіо 247, КС; Альфагард 100, КЕ). Інсектициди з

класу неонікотиноїдів є малополярними сполуками і за інтегральною класифікацією мають ступінь небезпечності IV–V (Актара 25, ВГ; Каліпсо 480 SC, КС; Канонір Дуо, КЕ; Моспілан, ВП; Ніссоран, ЗП).

Специфічний акарицид контактної дії, призначений для знищення рослинних

кліщів гекситіазокс, відноситься до неполярних сполук IV класу небезпечності за токсичністю та до II класу за стійкістю в екосистемі й має V ступінь небезпечності застосування (Ніссоран, ЗП).

Інсектициди з класу антраніламідів та кетоенолів (тетронікові кислоти) є більш полярними і менш токсичними сполуками за інтегральною класифікацією мають VI ступінь небезпечності (Кораген 20, КС та Енвідор 240, КС).

Також, для всіх досліджуваних інсектицидів було розраховано їх вміст в урожаї на період збору врожаю, який сягав від $5,8 \cdot 10^{-14}$ до 0,01 мг/кг, що значно нижче максимально допустимого рівня залишків для кожного пестициду.

Малополярні фунгіциди, які застосовувалися для захисту яблуні, належать до помірно та малонебезпечних препаратів (табл. 6).

Таблиця 6. Ступінь небезпечності та екотоксикологічні параметри фунгіцидів

| № з/п | Препарат (кг, л/га): діюча речовина, г/га | $\mu \pm 0,05$, Д | $k \pm 0,02$, діб | T50 +0,5, діб | T ₉₅ ± 2,0, діб | ЛД50, мг/кг | КА+КБ | Сн | | МДР, мг/кг | Вміст в урожаї, мг/кг | |
|-------|---|--------------------|--------------------|---------------|----------------------------|--------------|-------------------|--------|-------|------------|-----------------------|---|
| | | | | | | | | Д.р. | Преп. | | експ.* | розрах.** |
| 1 | Антракол 70 WP, ЗП (2,0): пропінеб, 1400 | 3,95 | 0,17 | 4,1 | 17,6 | 8500 | IV+III | 6 | 6,0 | 0,05 | Н | $4,8 \cdot 10^{-8}$ |
| 2 | Блюз, КС (0,35): крезоксим-метил, 35 + дифеноконазол, 70 | 3,50 4,56 | 0,15 0,20 | 4,6 3,0 | 20,0 13,6 | 5000 1453 | III+II III+III | 4 5 | 4,7 | 1,0 0,2 | Н Н | $1,0 \cdot 10^{-7}$ $8,9 \cdot 10^{-10}$ |
| 3 | Делан, ВГ (0,8): дитіанон, 560 | 3,90 | 0,17 | 4,1 | 17,7 | 640 | III+III | 5 | 5,0 | 0,004 | Н | 0,0002 |
| 4 | Луна Сенсейшн 500 SC, КС (0,35): трифлуксистробін, 87,5 + флуопірам, 87,5 | 3,53 4,50 | 0,15 0,2 | 4,6 3,5 | 20,0 15,0 | 5000 2000 | III+II III+III | 4 5 | 4,5 | 0,1 0,5 | Н Н | $9,6 \cdot 10^{-6}$ $1,4 \cdot 10^{-7}$ |
| 5 | Малвін 80, ВГ (2,0): каптан, 1600 | 4,32 | 0,19 | 3,6 | 15,8 | 3500 | III+III | 5 | 5,0 | 3,0 | Н | $1,6 \cdot 10^{-7}$ |
| 6 | Пенкоцеб, ЗП (2,0) манкоцеб, 1600 | 4,55 | 0,20 | 3,5 | 15,0 | 6000 | IV+III | 6 | 6,0 | 0,04 | Н | $3,1 \cdot 10^{-5}$ |
| 7 | Полірам ДФ, ВГ (2,5): метирам, 1750 | 3,20 | 0,15 | 4,6 | 20,0 | 10000 | IV+II | 5 | 5,0 | 0,02 | Н | 0,009 |
| 8 | Скала 400 SC, КС (0,8): піриметаніл, 320 | 4,10 | 0,18 | 3,9 | 16,7 | 5000 | III+III | 5 | 5,0 | 0,2 | Н | $7,3 \cdot 10^{-11}$ |
| 9 | Скор 250 ЕС, КЕ (0,2): дифеноконазол, 50 | 4,56 | 0,20 | 3,0 | 13,6 | 1453 | III+III | 5 | 5,0 | 0,1 | Н | $7,8 \cdot 10^{-10}$ |
| 10 | Топсін-М, ЗП (2,0): тіофанат-метил, 1400 | 3,35 | 0,15 | 4,6 | 20,0 | 6400 | IV+II | 5 | 5,0 | 0,5 | Н | 0,08 |
| 11 | Флінт Стар 520 SC, КС (0,5): трифлуксистробін, 60 + піриметаніл, 200 | 3,53 4,10 | 0,15 0,18 | 4,6 3,9 | 20,0 16,7 | 5000 5000 | III+II III+III | 4 5 | 4,8 | 0,1 0,2 | Н Н | 0,0008 0,0003 |
| 12 | Хорус 75 WG, ВГ (0,2): ципродиніл, 150 | 3,28 | 0,15 | 4,6 | 20,0 | 2000 | III+II | 4 | 4,0 | 0,05 | Н | $4,2 \cdot 10^{-10}$ |

Примітки: * – експериментальний; ** – розрахунковий.

Фунгіциди з класу анілінопіримідинів та стробілуринів належать до II класу небезпечності й за інтегральною класифікацією мають ступінь небезпечності IV (Блюз, КС; Луна Сенсейшн 500 SC, КС; Флінт Стар 520 SC, КС; Хорус 75 WG, ВГ). Їх розрахунковий вміст залишків у врожаї був від $4,2 \cdot 10^{-10}$ до $0,0008$ мг/кг, що значно нижче МДР. Помірно небезпечними зі ступенем небезпечності V є фунгіциди з класу дитіанів, анілінопіримідинів, піридилетиламідів, фталімідів та бензімідазолів (Делан, ВГ; Малвін 80, ВГ; Полірам ДФ, ВГ; Скала 400 SC, КС; Скор 250 EC, KE і Топсін-М, ЗП), розрахунковий вміст залишків у врожаї яких сягав від $2,2 \cdot 10^{-16}$ до $0,08$ мг/кг. Фунгіциди з класу дитіокарбаматів та диметилдитіокарбаматів є мало небезпечними сполуками зі ступенем небезпечності їх застосування VI (Пенкоцеб, ЗП; Антракол 70 WP, ЗП). Розрахунковий вміст залишків цих пестицидів у врожаї сягав $4,8 \cdot 10^{-8}$ і $3,1 \cdot 10^{-5}$ мг/кг.

З огляду на цю класифікацію, за необхідності застосування хімічного методу захисту рослин доцільно здійснювати обробку препаратами зі ступенем небезпечності IV–VI, а пестициди з III ступенем, є більш небезпечними для людини та біоти і потребують детальнішої регламентації, нормування та контролю.

Тому одним із необхідних елементів раціонального, екологічно безпечного застосування хімічних засобів захисту яблуні є чергування різнополярних пестицидів контактної та системної дії з різним механізмом впливу на шкідливі організми. Раціональний, екологічно та економічно обґрунтований захист яблуні потребує врахування багатьох чинників, які впливають на процес прийняття рішення про застосування пестицидів. Їх можна розділити на три групи: характеристика сорту, властивості препаратів, особливості шкідливих організмів.

Для визначення необхідності проведення обробки передусім проводили аналіз фітосанітарного стану яблуневого саду, який ґрунтується на видовому складі шкідливих об'єктів та рівні чисельності їх по-

пуляцій. На другому етапі здійснювали якісний аналіз отриманих даних фітосанітарного моніторингу насаджень. Визначалося чи здатна на цій стадії розвитку яблуні наявна чисельність шкідників, розвиток хвороб завдати втрат врожаю. Залежно від того, контроль якого із шкідливих об'єктів необхідний, проводили вибір пестицидів за спектром їх дії. В результаті, з кількох можливих варіантів захисту, на наступному етапі здійснювали вибір препарату, застосування якого є більш безпечним для навколишнього природного середовища та економічно вигідним.

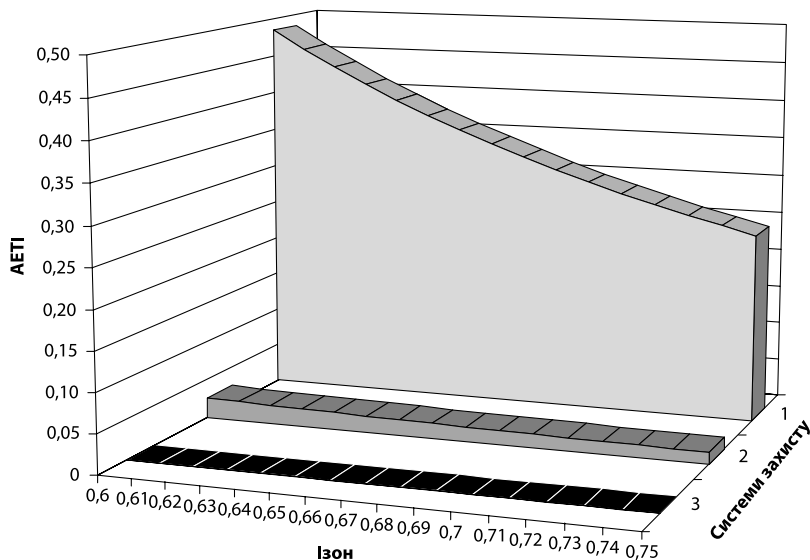
Тобто, використання цього алгоритму для контролю урожаю плодової продукції дає можливість здійснити вибір системи захисту, яка не лише буде ефективно захищати плодове насадження від шкідливих організмів, але також буде економічно доцільною та екологічно безпечною.

Для того, щоб зберегти сприятливу економічну ситуацію, потрібно нормувати кількість та асортимент пестицидів на рівні, що відповідає інтенсивності самоочищення сільськогосподарських ландшафтів.

З цією метою екоотоксикологічний ризик застосування пестицидів встановлено за агроотоксикологічним індексом (АЕТИ), способом аналізу системи: властивості пестицидів — сезонне навантаження — толерантність території. Властивості пестицидів характеризували за ступенем небезпечності за інтегральною класифікацією, толерантність екосистеми до пестицидного навантаження — зональним індексом самоочищення — I зон [3].

Під час планування хімічних заходів слід добирати асортимент пестицидів та норму їх витрати на одиницю площі з таким розрахунком, щоб значення АЕТИ були як можна меншими й не перевищували 1.

Було розраховано показник АЕТИ за різних індексів зональності (від 0,6 до 0,75), оскільки територія досліджень знаходиться на кордоні лісостепової і передгірської зони, а межа між ними достатньо умовна, адже кліматичні умови, характерні



Екоотоксикологічний ризик систем захисту яблуневого саду від шкідливих організмів в Передкарпатській провінції Карпатської гірської зони України:

1 – інтенсивна хімічна система ($Q=5,0$; $\sum H= 29,5$ кг/га); 2 – удосконалена хімічна система ($Q=4,9$; $\sum H=10,5$ кг/га); 3 – біолого-хімічна система ($Q=6,8$; $\sum H=0,5$ кг/га)

для Лісостепу, характерні і для передгірської частини регіону.

Агроотоксикологічний індекс для досліджуваних систем є малонебезпечним (рис.).

Показник сезонного навантаження пестицидів (H) для інтенсивної хімічної системи становив 29,5 кг/га, в той час як для удосконаленої системи – 10,5 кг/га, а для системи біолого-хімічного захисту – 0,45 кг/га, що є значно меншим показником. Це зумовлено тим, що у системі використовувалось більше препаратів біологічного походження, ніж хімічного. Середньозважений ступінь небезпеки (Q) у системі інтенсивного хімічного захисту сягав 5,0, а для удосконаленої системи – 4,9, що свідчить про помірно небезпечну систему. Середньозважений ступінь небезпеки в системі біолого-хімічного захисту становив 6,8, за умови, що для біологічних препаратів ступінь небезпеки брався 7,0, а система є малонебезпечною.

Агроотоксикологічний індекс для всіх систем захисту був меншим 1, тобто

всі системи захисту є малонебезпечними та не приводять до забруднення екосистеми. Для інтенсивної системи хімічного захисту цей показник коливався у межах 0,24–0,49, для удосконаленої – 0,014–0,025. Щодо системи біолого-хімічного захисту він становив від $6 \cdot 10^{-5}$ до $8 \cdot 10^{-5}$, адже у цій системі використовувалася лише одна обробка малополярними пестицидами.

Отже, проведення оцінки екологічного ризику навіть на етапі планування захисних заходів дає можливість оцінити потенційну небезпеку системи хімічного захисту і вибрати оптимальний варіант з урахуванням як фітосанітарної ситуації, так і екологічної безпеки.

ВИСНОВКИ

Результатами досліджень встановлено, що швидкість детоксикації пестицидів у листках та плодах яблуні залежить від їхніх фізико-хімічних властивостей та корелює з полярністю сполук. Асортимент пестицидних сполук необхідно удосконалювати за рахунок включення до переліку

більш полярних препаратів (антраніламідів, анілінопіримідинів, дитіокарбаматів, піридилетиламідів, фталіamidів та ін.). Для оцінки екотоксикологічної небезпеки застосування пестицидів вивчено особливості, швидкість та динаміку їх детоксикації в екосистемі яблуневого саду. Встановлено, що неполярні пестициди розпадаються зі швидкістю $0,07-0,12 + 0,05$ частин за добу, тобто процес їх детоксикації відбувається повільніше, ніж у малополярних пестицидів, швидкість розпаду яких сягає $0,15-0,22 + 0,05$ частин за добу. Здійснено класифікацію пестицидів, що застосовують-

ся для контролю комплексу шкідників та хвороб за ступенем небезпечності та показано, що доцільно проводити обробку препаратами зі ступенем небезпечності 4–6, а пестициди з 3 ступенем, є більш небезпечними для людини та біоти і потребують детальнішої регламентації, нормування та контролю. Аналізом екотоксикологічного ризику застосування пестицидів встановлено, що агроекотоксикологічний індекс для всіх систем захисту був меншим 1, тобто всі системи захисту є малонебезпечними та не приводять до забруднення екосистеми.

ЛІТЕРАТУРА

1. Бублик Л.І. Екотоксикологічний моніторинг пестицидів в агроценозах. *Інтегрований захист рослин на початку XXI століття*: матеріали міжнар. наук.-практ. конф. (м. Київ, 1–5 листоп., 2004 р.). Київ: УАН ІЗР, 2004. С. 571–580.
2. Гунчак М.В. Агроекотоксичний ризик застосування пестицидів в яблуневих насадженнях в умовах Південно-Західного Лісостепу України. *Подільський вісник: сільське господарство, техніка, екологіка*. 2017. № 26. С. 38–45.
3. Борзих О.І., Бублик Л.І., Гаврилюк Л.Л. та ін. Екотоксикологічні параметри безпечного застосування та адаптації хімічних систем захисту яблуні від шкідливих організмів до ґрунтово-кліматичних умов Передкарпатської провінції Карпатської гірської зони України. *Захист і карантин рослин*. 2021. Вип. 67. С. 42–72.
4. Бублик Л.І. Залежність фізико-хімічних та екотоксикологічних властивостей пестицидів від їх полярності. *Захист і карантин рослин*. 2004. Вип. 50. С. 244–251.
5. Бублик Л.І., Шевчук О.В., Крук Л.С. Моделювання процесів детоксикації різнополярних пестицидів в агроекосистемах. *Захист і карантин рослин*. 2002. Вип. 48. С. 174–180.
6. Васильев В.П., Кавецкий В.Н., Бублик Л.І. Интегральная классификация пестицидов по степени опасности загрязнения создаваемого их применением, и оценка опасности загрязнения окружающей среды. *Агрохимия*. 1989. № 6. С. 97–102.
7. Бублик Л.І. Теоретические основы и методы анализа пестицида в объектах агроэкосистемы. *Методи хімічного аналізу*: матер. 1 міжнар. симпозіуму. Севастополь, 2002. С. 17.
8. Гаврилюк Л.Л. Моніторинг пестицидів в агроценозі цукрового буряка: автореф. дис. ... канд. с.-г. наук: 03.00.16. Київ, 1999. 18 с.
9. Прокоп'юк Н.П. Екотоксикологічна характеристика гербіцидів, що використовуються при вирощуванні рису в Україні: дис. ... канд. с.-г. наук: 03.00.16. Київ, 1998. 142 с.
10. Шевчук О.В. Екотоксикологічне та економічне обґрунтування систем хімічного захисту зернових колосових культур в Лісостепу та Степу України: автореф. дис. ... канд. с.-г. наук: 03.00.16. Київ, 2004. 20 с.
11. Балюх О.В. Екотоксикологічний моніторинг пестицидів в агроценозах бобових культур в Лісостепу України: дис. ... канд. с.-г. наук: 03.00.16. Київ, 2013. 170 с.
12. Крук І.В. Екотоксикологічне обґрунтування застосування пестицидів при вирощуванні ріпаку озимого в Україні: дис. ... канд. с.-г. наук: 03.00.16. Київ, 2013. 180 с.
13. Панченко Т.П. Методи моніторингу та екотоксикологічний ризик застосування пестицидів в агроценозах плодових культур: автор. дис. ... канд. с.-г. наук: 03.00.16. Київ, 2006. 20 с.
14. Методики випробування і застосування пестицидів / за ред. С.О. Трибеля. Київ: Світ, 2001. 448 с.
15. Чабанюк Я.В., Шерстобоева О.В., Ткач Є.Д. та ін. Визначення біологічної ефективності пестицидів і агрохімікатів: методичні вказівки. Київ, 2013. 36 с.
16. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). Москва: Агропромиздат, 1985. 351 с.
17. Методичні вказівки з визначення мікрокількостей пестицидів в продуктах харчування, кормах та навколишньому середовищі. Київ: Мін. охорони навколишнього середовища, 2008. 36. № 75.

REFERENCES

1. Bublik, L.I. (2004). Ekotoksikologichnyi monitoring of pesticides in agrocenoses [Ecotoxicological monitoring of pesticides in agrocenoses]. *Integrovanyi zakhyst roslin na pochatku XXI stolittia: materialy konferentsii* (Kyiv, 1–5 October, 2004). Kyiv: UAN IZR, 2004. Pp. 571–580.

- rialy mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii [Integrated plant protection at the beginning of the XXI century: materials of the international scientific-practical conference].* (pp. 571–580). Kyiv: UAAN IZR [in Ukrainian].
2. Hunchak, M.V. (2017). Ahroekologichnyi ryzyk zastosuvannya pestytsydiv v yabluneyvkh nasadzheniakh v umovakh Pivdenno-Zakhidnoho Lisostepu Ukrainy [Agroecological risk of pesticide application in apple orchards in the conditions of the South-Western Forest-Steppe of Ukraine]. *Podilskyi visnyk: silske hospodarstvo, tekhnika, ekonomika – Podolsk Bulletin: agriculture, technology, economics*, 26, 38–45 [in Ukrainian].
 3. Borzykh, O.I., Bublyk, L.I., Havrylyuk, L.L. et al. (2021). Ekotoksikologichni parametry bezpechnoho zastosuvannya ta adaptatsii khimichnykh system zakhystu yabluni vid shkidlyvykh orhanizmiv do gruntovo-klimatychnykh umov Peredkarpatskoi provintsii Karpatskoi hirs'koi zony Ukrainy [Ecotoxicological parameters of safe application and adaptation of chemical systems of protection of apple trees from harmful organisms to soil and climatic conditions of the Pre-Carpathian province of the Carpathian mountain zone of Ukraine]. *Zakhyst i karantyn roslyn – Plant protection and quarantine*, 67, 42–72. DOI: <https://doi.org/10.36495/1606-9773.2021.67.42-72> [in Ukrainian].
 4. Bublyk, L.I. (2004). Zalezhnist fizyko-khimichnykh ta ekotoksikologichnykh vlastyvosti pestytsydiv vid yikh poliarnosti [Dependence of physicochemical and ecotoxicological properties of pesticides on their polarity]. *Zakhyst i karantyn roslyn – Plant protection and quarantine*, 50, 244–251 [in Ukrainian].
 5. Bublyk, L.I., Shevchuk, O.V. & Kruk, L.S. (2002). Modeliuvannya protsesiv detoksykatsii riznopolyarnykh pestytsydiv v ahroekosystemakh [Modeling of detoxification processes of multipolar pesticides in agroecosystems]. *Zakhyst i karantyn roslyn – Plant protection and quarantine*, 48, 174–180 [in Ukrainian].
 6. Vasil'ev, V.P., Kaveckij, V.N. & Bublik, L.I. (1989). Integral'naja klassifikacija pesticidov po stepeni opasnosti zagrjaznenija sozdavaemogo ih primeneniem, i ocnenka opasnosti zagrjaznenija okruzhajushhej sredy [Integral classification of pesticides according to the degree of danger of pollution created by their use, and assessment of the danger of environmental pollution]. *Agrohimija – Agrochemistry*, 6, 97–102 [in Russian].
 7. Bublyk, L.I. (2002). Teoreticheskie osnovy i metody analiza pesticida v ob'ekтах agroekosistemy [Theoretical Foundations and Methods of Pesticide Analysis in Agroecosystem Objects]. *Metody khimichnoho analizu: materialy 1 mizhnarodoho sympoziumu [Methods of chemical analysis: materials of the 1st international symposium]* (p. 17). Sevastopol [in Russian].
 8. Havryliuk, L.L. (1999). Monitorynh pestytsydiv v ahrotsenozi tsukrovoho buriaka [Monitoring of pesticides in the sugar beet agroecosystem]. *Candidate's thesis*. Kyiv [in Ukrainian].
 9. Prokopiuk, N.P. (1998). Ekotoksikologichna kharakterystyka herbitsydiv, shcho vykorystovuietsia pry vyroshchuvanni rysu v Ukraini [Ecotoxicological characteristics of herbicides used in rice cultivation in Ukraine]. *Candidate's thesis*. Kyiv [in Ukrainian].
 10. Shevchuk, O.V. (2004). Ekotoksikologichne ta ekonomichne obgruntuvannya system khimichnoho zakhystu zernovykh kolosovykh kultur v Lisostepu ta Stepu Ukrainy [Ecotoxicological and economic substantiation of systems of chemical protection of grain ear crops in the Forest-Steppe and Steppe of Ukraine]. *Extended abstract of candidate's thesis*. Kyiv [in Ukrainian].
 11. Baliukh, O.V. (2013). Ekotoksikologichnyi monitorynh pestytsydiv v ahrotsenozakh bobovykh kultur v Lisostepu Ukrainy [Ecotoxicological monitoring of pesticides in agroecosystems of legumes in the forest-steppe of Ukraine]. *Candidate's thesis*. Kyiv [in Ukrainian].
 12. Kruk, I.V. (2013). Ekotoksikologichne obgruntuvannya zastosuvannya pestytsydiv pry vyroshchuvanni ripaku ozymoho v Ukraini [Ecotoxicological substantiation of pesticide application in winter rape cultivation in Ukraine]. *Candidate's thesis*. Kyiv [in Ukrainian].
 13. Panchenko, T.P. (2006). Metody monitorynhu ta ekotoksikologichnyi ryzyk zastosuvannya pestytsydiv v ahrotsenozakh plodovykh kultur [Monitoring methods and ecotoxicological risk of pesticide use in agroecosystems of fruit crops]. *Extended abstract of candidate's thesis*. Kyiv [in Ukrainian].
 14. Trybel, S.O. (Ed). (2001). Metodyky vyprovuvannya i zastosuvannya pestytsydiv [Test procedures and pesticides]. Kyiv: Svit [in Ukrainian].
 15. Chabaniuk, Ya.V., Sherstoboeva O.V., Tkach E.D. et al. (2013). *Vyznachennia biolohichnoi efektyvnosti pestytsydiv i ahrokhimikativ. Metodychni vkazivky [Determination of biological effectiveness of pesticides and agrochemicals. Methodical instructions]*. Kyiv [in Ukrainian].
 16. Dospikhov, B.A. (1985). *Metodika polevogo opyta (s osnovami statisticheskoy obrabotki rezul'tatov issledovaniy) [Field experience methodology (with the basis of statistical processing of research results)]*. Moskva: Agropromizdat [in Russian].
 17. Ministry of Environmental Protection of Ukraine. (2008). *Metodychni vkazivky z vyznachennia mikrokilkosti pestytsydiv v produktakh kharchuvannya, kormakh ta navkolyshnomu seredovyshchi [Guidelines for the determination of microquantities of pesticides in food, feed and the environment]*. Kyiv [in Ukrainian].

Стаття надійшла до редакції журналу 08.05.2022